

マイクロ操作に基づいた 教育用コンピュータ・ネットワークシミュレータの開発と評価[†]

石川 賢*・川島 芳昭*
宇都宮大学教育学部*

概要 情報通信ネットワークシステムにおける基本的な情報利用の仕組みについての学習指導を支援するため、コンピュータの計算の仕組みやネットワークの情報授受の仕組みをマイクロ操作やポートの操作に基づいて指導した。その学習を支援するため、コンピュータ、ネットワークおよびサーバ間の一連のデータの流れの学習を支援することを目的とした教育用コンピュータ・ネットワークシミュレータ教材（MOCS-Web）を作成した。そして、中学校の生徒を対象としてMOCS-Webを使用した検証授業を行った。その結果、MOCS-Webを用いた実習に効果があることが明らかになった。

キーワード：マイクロ操作、コンピュータ、ネットワーク、シミュレータ、開発、評価

1. はじめに

これまで、中学や高等学校の生徒を対象に、コンピュータの計算の仕組みやプログラミング、ネットワークによるデータ転送の仕組みについての導入教育をしてきた。

コンピュータの計算の仕組みやプログラミングに関する導入教育^{1)～5)}では、命令の機能や計算の仕組みを言葉による解説だけではなく、マイクロ操作に基づいて実習させる指導を行ってきた。このため、学習者が手動でゲートを開閉操作することでコンピュータ内のデータの流れを制御できるコンピュータシミュレータを開発した。そして、検証授業の結果からシミュレータを用いた実習に効果があることを明らかにした。

一方、ネットワークによるデータ転送の仕組みの導入教育⁶⁾では、パケット転送や経路選択の仕組みを把握させることを支援するネットワークのシミュレータを開発した。このシミュレータの特徴は、学習者がルータ内のゲートを開閉操作することで、

パケットの処理やルーティングテーブルによるルータ間での経路選択ができるところにある。そして、検証授業の結果からシミュレータを用いた実習に効果があることを明らかにした。

ところで、平成20年に公示された学習指導要領では、中学校の技術・家庭科の中でコンピュータの構成と基本的な情報処理の仕組みや、情報通信ネットワークにおける基本的な情報利用の仕組みに関する学習指導を行うことが示された。コンピュータの構成と基本的な情報処理の仕組みの指導にあたっては、主要な装置や情報処理の仕組み、文字を初めとした情報のデジタル化の仕組み、ビットやバイトなどについて取り扱うことが示されている。一方、インターネットなどの情報通信ネットワークの構成と基本的な情報利用の仕組みについてはサーバや端末、ハブなどの機器や接続方法、TCP/IPなどの共通の通信規約が必要なことについて知ることなどが示されている。

そこで、コンピュータや情報通信ネットワークの仕組みの概念を把握させるためには、構成要素であるコンピュータの内部やネットワークの内部のデータ転送の仕組みを別々に把握させるだけではなく、一連のデータ転送やパケット伝送の流れとして把握させることが重要であると考えた。

しかし、これまで開発されてきた教育用のシミュレータは、コンピュータ内の計算の仕組みや、ネッ

[†] Ken ISHIKAWA* and Yoshiaki KAWASHIMA**:
Development and Evaluation of an Educational
Computer・Network Simulator Software
Package based on Micro-Operations.

Keywords :Micro-Operations, Computer,
Network, Simulator, Development, Evaluation

* Faculty of Education, Utsunomiya University
(連絡先：kawasima@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

トワーク上のデータ転送の仕組みのそれぞれを独立に把握させることを目的にしたものであった。また、それらは主に高等教育での利用を想定したシミュレータであり、中学生を対象としたものは少なかった^{7) 8)}。さらに、コンピュータ内のデータの流れやネットワーク上のデータ転送の一連の流れの把握を支援するシミュレータは見あたらなかった。

そこで本研究では、情報通信ネットワークの主要な構成要素であるコンピュータとネットワーク(ルータ)、サーバ(チャットサーバ)間での一連のデータの流れを概括的に把握させることを目的とした。このため、前述のコンピュータとネットワークのシミュレータの着想を統合し、かつチャットサーバの機能を付加したシミュレータ(MOCS-Web)を新たに開発した^{9) ~ 11)}。具体的には、コンピュータ内部でのデータの流れをマイクロ操作に基づいて把握させ(検証済み)、その後ルータやサーバ間でのデータの転送をルータの出力ポート(ポートと呼ぶ)を開閉操作することで把握させた。

本論文では開発したシミュレータの概要と、中学

校の生徒を対象として本教材を使用した授業を試行した結果から学習支援の効果を報告する。

2. 基本構想

まず、コンピュータの計算の仕組みをマイクロ操作に基づいて具体的に習得させる。これは、コンピュータの命令の機能が、コンピュータを構成する要素間のデータ転送を制御するものであることに着目し、命令の機能をゲートの開閉操作(マイクロ操作)の列として具体的に説明する方策を取る^{1) ~ 5)}。そして、コンピュータのシミュレータを用いてコンピュータ内のデータを具体的にゲートを開閉操作して転送させる。

次に、マイクロ操作を情報通信ネットワークのデータ転送の仕組みの説明にも援用し、ネットワーク上のパケットの伝送を、伝送経路を制御するルータの出力ポート(ポート)の開閉操作の列として具体的に説明する⁶⁾。そして、ネットワークのシミュレータを用いてネットワーク上のパケットをルータのポートを開閉操作して転送させる。

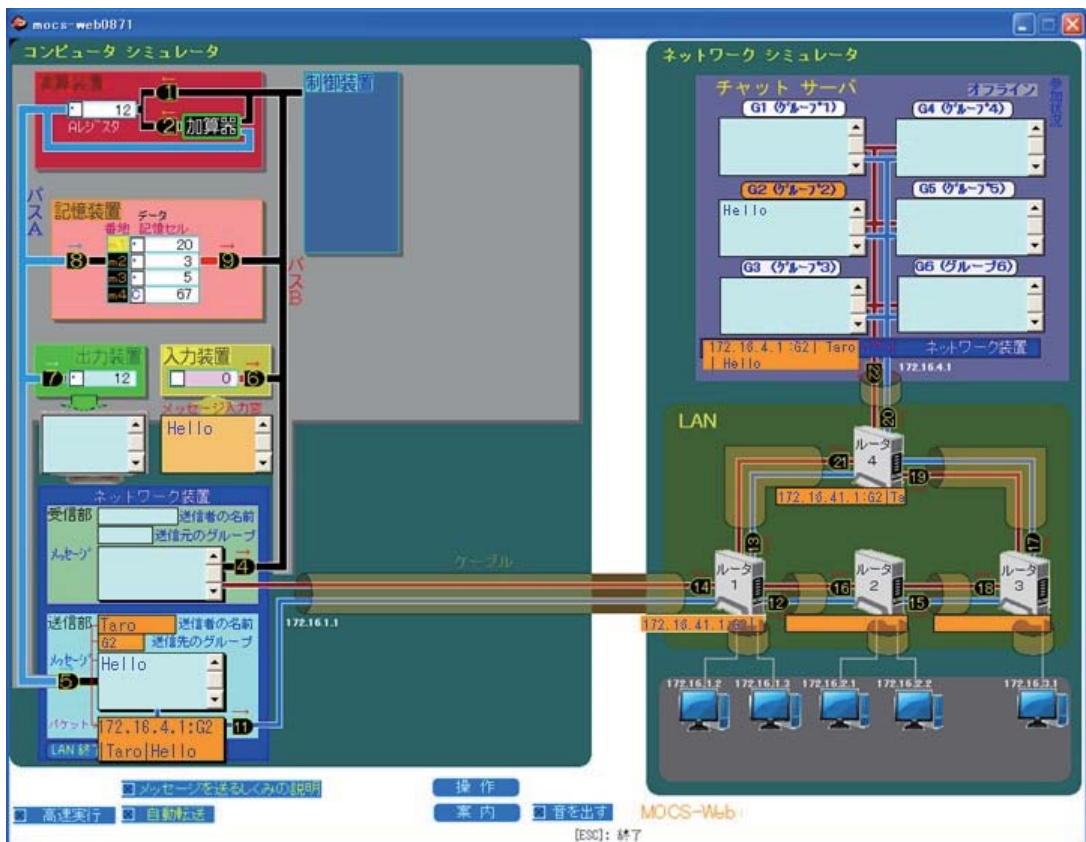


図1 コンピュータ・ネットワークシミュレータ (MOCS-Web) の表示画面の一例

さらに、サーバ（チャットサーバ）との間での一連のデータの流れを概括的に把握させることとした。

本研究は、コンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの流れを概括的に把握させることを目的とする。このため、前者のコンピュータのシミュレータと、後者のネットワークのシミュレータの着想を統合し、かつチャットサーバの機能を付加したコンピュータ・ネットワークシミュレータ(MOCS-Web)を新たに開発した。そして、実習の効果を検証した^{9)～11)}。

開発したコンテンツは、教育の現場の種々のコンピュータ上で実行できる必要がある。このため、Webページブラウザ上で実行可能なコンテンツを開発できるDirector (Adobe Systems Software Ireland Ltd.)を用いた。

3. シミュレータの概要

MOCS-Webは、コンピュータの具体モデルとネットワークの具体モデルから構成した。図1にMOCS-Webの表示画面の一例を示す。

(1) コンピュータの具体モデルと学習支援

コンピュータの具体モデルは、図1の左側のコンピュータシミュレータの部分に示すように、コンピュータの入力、出力、記憶、演算、制御の各装置と、それらの間でデータ転送を行うためのバスやゲート（図1中のANDの記号の1～9）から構成した。さらに、ネットワーク上のサーバや他のコンピュータ等とのパケットの送受信の機能を実現するために、ネットワーク装置（送信部・受信部）を設けた。

a. データ転送のマイクロ操作

学習者は、各装置の記憶セルにデータをセットし、ゲートを逐次開閉することでデータ転送や演算操作を行うことができる。

この実習を支援するため、シミュレータ上のデータの流れやレジスタの値の変化、プログラムの実行状況などを可視化するとともに、学習者の試行錯誤を支援するためのメッセージの提示機能などを設けた。

一例として、メッセージ入力窓（図1左側の中央部分を参照）にセットしたメッセージ“Hello”は、次のようにゲート6からゲート1、ゲート5を開くことでネットワーク装置の送信部に転送できる。

メッセージ入力窓の文字列の1文字を逐次取り出し、入力装置の記憶セルに移す。



ゲート6を開く。文字データはバスBに出される。



ゲート1を開く。文字データはAレジスタに一時記憶されるとともに、バスAに出される。



ゲート5を開く。バスA上の文字データは送信部のメッセージ窓の文字列の末尾へ付加される。

メッセージ入力窓の文字列“Hello”は、学習者が上記のゲート操作を文字数分繰り返すことでネットワーク装置の送信部へ転送できる。図1の送信部のメッセージ窓はその結果を示している。

b. ネットワーク装置でのパケットの生成と分解

図1に示したネットワーク装置の送信部は“送信者の名前”として“Taro”が、チャットサーバ（IPアドレスは172.16.4.1とする）のグループへ参加するための“送信先のグループ”として“G2”を予めセットしてあることを示している。

本シミュレータは、これらの情報を組み合わせてパケットを生成する。本シミュレータで生成するパケットの形式を以下に示す。

“送信先のIPアドレス”：“送信先のグループ” | “送信者の名前” | “メッセージ”

従って、図1ではメッセージ“Hello”を含めて、“172.16.4.1:G2 | Taro | Hello”

というパケットが生成されてパケット窓にセットされたことを示している。このパケットは、ゲート11を開くことでネットワークシミュレータのLANの部分に送出できる。

一方、ネットワーク装置の受信部は、ネットワークシミュレータ（図1の左側）からLANを介してパケットを受け取り、受け取ったパケットを分解して“送信者の名前”、“送信元のグループ”および“メッセージ”の各々の窓にセットする。“メッセージ”窓の文字列はゲート4を開くことでバスBを經由して他の装置に転送できる。

(2) ネットワークの具体モデルと学習支援

ネットワークの具体モデルは、図1右側のネット

ワークシミュレータ中のLANの部分に示す複数のルータ（1～4）と、ルータ間のケーブル、そしてチャットサーバから構成した。

a. ルータ間のパケット転送の支援

ルータには、送られてきたパケットを受け取り、次のルータやサーバに送り出すための出力ゲート（ポート、図中のANDの記号の11～21）を設けた。学習者は、各ポートを逐次開いていくことで、パケットを目的のIPアドレスの装置に伝送することができる。

また、各ルータには受け取ったパケットの内容を可視化するための窓を設け、学習者がLAN上のパケットの送受信の状況を観察することを支援した。さらに、パケットの内容は経路上のルータやサーバに逐次記録されていくことを示すことで、情報通信ネットワークの利用上の留意点に気づかせるための配慮をした。

一例として、前述のネットワーク装置の送信部のパケット“172.16.4.1:G2 | Taro | Hello”を、ネットワークシミュレータのチャットサーバのグループ“G2”の窓に転送する手順を以下に示す。

送信部のパケット“172.16.4.1:G2 | Taro | Hello”は、学習者がゲート 11 を開くことで、ネットワークシミュレータの LAN 上にあるルータ 1 に送られる。



ルータ 1 は受け取ったパケットを窓に表示するとともに、ポート 12, 13, 14 からパケットを送出できる状態になる。



学習者は、チャットサーバの IP アドレス 172.16.4.1 への最短の経路でパケットを送り出すために、ポート 13 を開く。



パケットはルータ 4 に送られる。



ルータ 4 は、受け取ったパケットを窓に表示するとともに、ポート 19, 20, 21 からパケットを送出できる状態になる。



学習者は、IP アドレス 172.16.4.1 への最短の経路であるポート 20 を開く。



パケットはチャットサーバが受け取り、チャットサーバのネットワーク装置の窓に表示される。

b. チャットサーバによる支援

図 1 の右上に示すように、サーバの具体モデルとして、グループ内の他の学習者と実際にメッセージ交換を行えるチャットサーバを設けた。

上述したチャットサーバが受け取ったパケットは、内容が窓に表示されるとともに分解され、図 1 の右上に示すようにグループ G2 の窓にメッセージ“Hello”が送られる。グループ G2 の参加者は、“Taro”からのメッセージ“Hello”を共有することができる。

一方、チャットサーバのグループ G2 の窓内のメッセージは、パケットとして以下の手順でコンピュータシミュレータの受信部に転送できる。

チャットサーバのゲート 22 を開く。



ルータ 4 のポート 21 を開く。



ルータ 1 のポート 14 を開く。



コンピュータシミュレータ内のネットワーク装置の受信部メッセージ窓にメッセージが送られ表示される。

このメッセージは各自のコンピュータシミュレータの部分でデータ転送に利用できる。



写真 1 検証授業の様子

表1 検証授業の流れ

事項	実施時間
① 事前テスト	5 分
② コンピュータの構成と計算の仕組み	85 分 (2 校時分を連続して使用)
③ 情報通信ネットワークの構成と仕組み	
④ チャットサーバの仕組み・チャットによるメッセージの交換	
⑤ 事後テスト・意識調査	10 分

このようにして、普段使用しているネットワークやサーバの機能を楽しみながら把握させるとともに、情報通信ネットワークを利用する上での長所や、セキュリティをはじめとした短所に気づかせる配慮をした。

なお、本シミュレータMOCS-Webは、一学級分の学習者が、教室内LANで接続したコンピュータ上で、一斉に個別操作ができることを前提として開発した。試行した中学校に設置されているコンピュータでは、32名の学習者が任意のグループ（G1～G6）に参加し、グループ内の参加者とチャットを行うことができることを確認した。

4. 検証の方法

公立中学校の第1学年の生徒を対象に、実験群(32名)と統制群(30名)を構成して授業を試行した。写真1に検証授業の様子を示す。表1に示すように、授業(2校時分)は、①事前テスト、②コンピュータの構成と計算の仕組み、③情報通信ネットワークの構成と仕組み、④チャットサーバの仕組み・チャットサーバを用いたメッセージ交換、⑤事後テストと意識調査の順で実施した。

実験群は、②～④において、MOCS-Webを用いた実習を行った群である。教師は電子ホワイトボードを用いてMOCS-Web上のデータの流れを動的に一斉提示し、説明を行った。生徒はマイクロ操作を交えた個別実習の形態をとった。生徒はMOCS-Webを使った教師の説明を聞き、PC上のMOCS-Webを個別に操作し、学習ノートにデータやパケットの流れや結果などを記入した。その後、④を個別に実施した。

一方、統制群は、②～④において、MOCS-Webを用いた実習を行わなかった群である。教師は、(OHPによる提示とほぼ同様に) MOCS-Webのデータの流れを静止画で一斉提示し、説明を行った。学習者は一斉学習の形態で教師の説明を聞き、紙面に印刷したMOCS-Webの図を見て、学習ノートにデータやパケットの流れ及び結果などを記入した。その後④についても、紙面に印刷したMOCS-Webの図を見ながら説明を聞くのみで、個別に実習は行わなかった。

なお、⑤の終了後に実験群と統制群の学習者を入れ替えて同様の授業を補足し、結果として両群に同等の学習指導を行った。

5. 結果の概要

(1) 正答率の比較

学習状況を客観的に比較するため、両群の事後テストの正答数を比較した。本研究は、コンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの流れを概括的に把握させることを目的とする。表2に、データの流れの把握に関する評価問題、実験群と統制群の正答率、 χ^2 検定の値、有意差の有無を示す。

表2に示すように、問2. IPアドレスの意味(記述式)、問4. パケットの伝送手順(ポートの開閉手順の記述)、問5. パケットの伝送の効率(選択式)、問6. ネットワークの障害への対応(選択式)の問題についての正答数で、いずれも実験群が優位(χ^2 検定、有意水準5%)であった。

表2 事後テストの比較

問題 コンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの 流れの概括的な把握に関する問題 () 内に、問題文を示す。	実験群、32 名 (MOCS-Web による 実習あり)の正答 率(%)	有意差の有無 (有意水準 5%) を>で表示 (χ^2 の値)	統制群、30 名 (MOCS-Web によ る実習なし)の正 答率(%)
問 1. 入力窓から送信部へのデータ転送(ゲートの 開閉手順) (問: 入力装置のメッセージ入力窓のデータを、ネットワーク装 置の送信部に送るには、ゲートをどのように開いたらよいか手順 を書きなさい。)	93.8	無し (2.605)	80.0
問 2. IP アドレスの意味(記述式) (問: IP アドレスとは何ですか。説明しなさい。)	78.1	> (4.249)	53.3
問 3. パケットの伝送(ポートの開閉手順, 経路 A) (問: IP アドレス172.16.1.1のコンピュータから、172.16.4.1 のコンピュータにパケットを送信するには、ポートをどのように 開いたらよいか手順を書きなさい。二つの経路を答えなさい。)	93.8	無し (3.642)	76.7
問 4. パケットの伝送(ポートの開閉手順, 経路 B) (上記3と同じ問)	90.6	> (4.220)	70.0
問 5. 伝送の効率(選択) (問: 経路Aと経路Bを比べると、どちらが効率的ですか。 (A B) どちらかに○印)	93.8	> (5.984)	70.0
問 6. 故障への対処(選択) (問: ポート13が故障したら、どちらを通りますか。 (A B) どちらかに○印)	93.8	> (5.984)	70.0

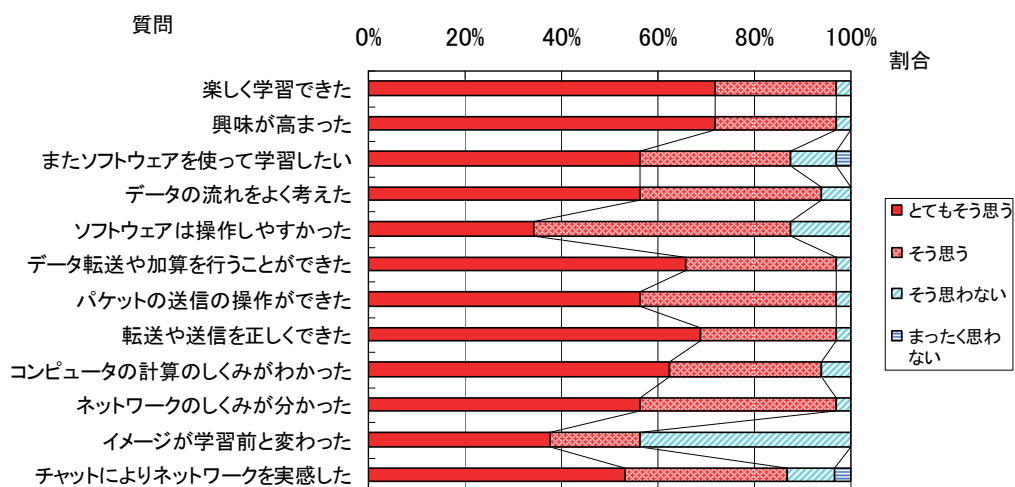


図2 事後意識調査の結果

実験群では、問2についての正答率が78.1%であったものの、その他の問1および問3～問6については、いずれも90.6%以上の高い正答率を得ている。これらの問題の内容は、いずれもコンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの流れをMOCS—Webを用いて実習した事項である。従って、MOCS—Webを用いた実習に効果があったと言える。

一方、統制群では問1の入力窓から送信部へのデータ転送（ゲートの開閉手順）の正答率が80.0%であったものの、問2から問6の正答率は、53.3%～76.7%であり、いずれも実験群の正答率と同等またはそれ以下であった。これは、コンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの流れを、教師による静止画での説明や、学習者が紙面に印刷した図を見るだけでは実感が持てず、結果としてデータやパケットの流れを把握できなかった学習者が多かったものと推察できる。

（2）意識調査の結果

図2に実験群の事後意識調査の結果を示す。

いずれの項目についても、肯定的な回答（「とてもそう思う」「そう思う」）が多く得られた。特に、「楽しく学習できた。」や「興味が高まった。」、「コンピュータ内のデータ転送や加算を行うことができた。」「ネットワーク上でパケットの送信の操作を行うことができた。」「データ転送やパケットの送信を、正しく行うことができた。」「ネットワークのしくみが分かった。」の項目では、96.9%もの学習者が肯定的な回答をしている。

また、実験群では「チャットによりネットワークを実感した。」について、86.7%が肯定的な回答をしている。このため、MOCS-Web上でのチャットによるメッセージの交換が、学習者にネットワークの実感を持たせるために効果的であったと言える。

従って、意識の面でもMOCS—Webを用いた実習は、良好であったと言える。

（3）自由記述回答の結果

図2に示した意識調査の中で、「コンピュータやネットワークのイメージが学習前と変わった。」について、56.3%の学習者が肯定的な回答をした。そこでさらに、問「イメージがどのように変わりましたか。」の回答を自由記述形式で得た。その結果を

要点別にまとめて以下に示す

- ・複雑そうに思っていたが理解できた。（7件）
- ・難しそうに思っていたが仕組みが分かった。（3件）
- ・親しみを持てた、おもしろかった、楽しくできた。（3件）
- ・便利だけどへんなサイトにいってしまうのは怖いと思った。（1件）
- ・他（5件）

上記のように、「複雑そう」や「難しそう」に思っていたことが「理解できた」や「分かった」に変わったことが分かった。

さらに、問「パケットの伝送中に、ルータ上のパケットを見ることができたことで、あなたはどのように感じましたか。」の回答を自由記述形式で得た。その結果を要点別にまとめて以下に示す

- ・分かった（流れ、仕組み）。（9件）
- ・すごいと思った（速さ、仕組み、便利）。（9件）
- ・自分のデータも見られているのかなと思い怖くなった。危険。（3件）
- ・他（3件）

上記のように、パケットの流れや仕組みが分かったという回答が多く得られた。一方、「自分のデータも見られているのかなと思い怖くなった。」との趣旨の記述が3件あった。これは、MOCS-Webを用いた実習で、パケットの軌跡がルータやサーバに残されていくことを見て、情報流出の危険性やネットワークを悪用できないことに学習者自身が気づいたことが伺える。従って、情報モラルの学習にも本教材を適用することが期待できる。

これらの意識調査結果からも、中学校の生徒を対象として本シミュレータを用いた授業を行うことで、所期の学習効果が得られることが分かった。

6. むすび

コンピュータ、ネットワークおよびサーバ間の一連のデータの流れの学習を支援することを目的とした教育用コンピュータ・ネットワークシミュレータ教材MOCS-Webを作成した。そして、中学校の生徒を対象としてMOCS-Webを使用した検証授業を行った。

事後テストの結果から、IPアドレスの意味、パケットの伝送手順、パケットの伝送の効率、ネットワークの障害への対応などの問題についての正答数で、

いずれもMOCS-Webを用いて実習を行った群が優位であった。従って、MOCS-Webを用いた実習に効果があったと言える。

また、事後意識調査の結果から「楽しく学習できた。」や「興味が高まった。」「コンピュータ内のデータ転送や加算を行うことができた。」「ネットワーク上でパケットの送信の操作を行うことができた。」「データ転送やパケットの送信を、正しく行うことができた。」「ネットワークのしくみが分かった。」等の項目で96.9%の学習者が肯定的な意識を持った。さらに、MOCS-Webを用いた実習で、情報流出の危険性や、ネットワークを悪用できないことに気づいた学習者がいたことが分かった。

以上から、中学校の生徒を対象にMOCS-Webを用いた実習を行うことで、コンピュータとネットワークおよびサーバ間での一連のデータの流れを概括的に把握させることができることが明らかになった。

今後、MOCS-Webをタブレット型のコンピュータやスマートフォンで実行できるように移植し、より多くの授業や家庭等で利用できるようにすることや、さらに多くの検証を行うことが期待される。

なお、本研究は国立大学法人宇都宮大学ヒトを対象とする研究に関する倫理規定に基づく研究倫理審査委員会で審査を受け、承認（H11-0020）を得て実施した。

謝辞

本研究の検証授業にご協力いただいた宇都宮市立星が丘中学校校長 綱川 浄先生をはじめ、担当いただいた先生方に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) Ishikawa, K. and Baba, N., WCCE/85, IFIP, pp.483-488 (1985).
- 2) 石川 賢, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J71-A, No.11, pp.2063-2071 (1988).
- 3) 石川 賢, 山口光夫, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J75-A, No. 2, pp.422-430 (1992).
- 4) 石川 賢, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J77-A, No.5, pp.802-811 (1994).
- 5) 石川 賢, 清水康敬, 教育システム情報学会誌, Vol.15, No.3, pp.119-128 (1998).

- 6) 川島芳昭, 石川 賢, 日本産業技術教育学会誌, Vol.43, No.1, pp.27-35 (2001).
- 7) 木室義彦, 他, 信学技報, ET2003-60, pp.1-6 (2003).
- 8) 赤根一浩, 田中啓勝, 日本産業教育学会誌, Vol. 41, No.2, pp.63-71 (1999).
- 9) 石川 賢, 川島芳昭, 全日本教育工学研究協議会全国大会論文集, 36 (2010).
- 10) 石川 賢, 川島芳昭, 日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集, 54, p.95 (2011).
- 11) 石川 賢, 川島芳昭, 教育システム情報学会全国大会論文集, 37, pp.340-341, (2012).

論文受理 平成27年3月17日